UNIVERSITE DE GENEVE
Section de médecine clinique
Institut d'anesthésiologie

FACULTE DE MEDECINE
Professeur Marcel GEMPERLE

Etude comparative clinique et technique de quelques respirateurs modernes

THESE

présentée à la Faculté de médecine de l'Université de Genève
pour obtenir le grade de docteur en médecine

par

Elisabeth AMBERG

de

BÜRON (Lucerne)

Thèse No 3489

GENEVE
Editions Médecine et Hygiène
1976

UNIVERSITE DE GENEVE
Section de médecine clinique
Institut d'anesthésiologie

FACULTE DE MEDECINE

Professeur Marcel GEMPERLE

Etude comparative clinique et technique de quelques respirateurs modernes

THESE

présentée à la Faculté de médecine de l'Université de Genève
pour obtenir le grade de docteur en médecine

par

Elisabeth AMBERG

de

BÜRON (Lucerne)

Thèse No 3489

GENEVE
Editions Médecine et Hygiène
1976

La Faculté de médecine, sur le préavis du professeur Marcel Gemperle, autorise l'impression de la présente thèse, sans prétendre par là émettre d'opinion sur les propositions qui y sont énoncées.

Genève, le 13 février 1976

Le doyen :
William Geisendorf

Thèse No 3489

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Le professeur Marcel Gemperle a accepté de diriger cette étude. Qu'il trouve ici l'expression de ma vive reconnaissance pour ses conseils et l'intérêt qu'il m'a témoigné pendant l'élaboration de ce travail.

Au docteur Pierre Suter, chef de clinique à l'unité de Soins intensifs chirurgicaux de l'Hôpital cantonal de Genève, en témoignage de sa franche collaboration et en gage de ma sincère amitié.

Je tiens aussi à remercier le docteur Heini Schaffner, chef de clinique adjoint, et le docteur Marc-André Weibel, assistant, à l'Institut universitaire d'anesthésiologie.

A MES PARENTS

ETUDE COMPARATIVE CLINIQUE ET TECHNIQUE DE QUELQUES RESPIRATEURS MODERNES

INTRODUCTION

Historique

Gierz proposa en 1916 une ventilation assistée par insufflation rythmique en chirurgie thoracique (1,2). Nous devons à Fleisch (1925) l'introduction de la pneumotachographie (3, 4). Mais, c'est l'épidémie de poliomyélite de 1949-1950 en Scandinavie qui stimula la recherche dans le domaine des appareils à respiration assistée. Carl Gunnar Engström est le pionnier qui développa dès 1950 un respirateur perfectionné (5). Cet appareil, tout d'abord utilisé pour l'assistance respiratoire des poliomyélitiques, fut employé ensuite pour les cas de tétanies, de traumatisés crâniens et de volets thoraciques post-traumatiques.

Durant ces vingt dernières années, l'indication de la ventilation mécanique a été étendue à la majorité des cas d'insuffisance respiratoire aiguë grave. Parallèlement, nous avons assisté à un développement formidable des possibilités techniques et électroniques, possibilités dont les constructeurs ont fait usage pour créer des respirateurs modernes qui ont permis ainsi de faire de remarquables progrès thérapeutiques.

./.

Traitement de l'insuffisance respiratoire aiguë

De nombreuses circonstances peuvent conduire à l'insuffisance respiratoire aiguë :

1. atteinte du centre respiratoire telle que : hypoxie cérébrale, intoxications médicamenteuses et traumatismes crânio-cérébraux ;

2. perturbation de l'intégrité de la paroi thoracique : volet costal, opérations thoraciques ;

3. troubles neuromusculaires : Guillain-Barré, myasthénie, curarisation ;

4. atteinte du parenchyme pulmonaire : pneumonie, oedème pulmonaire, pneumopathies interstitielles ;

La ventilation artificielle est différente de la respiration physiologique puisque le mélange gazeux n'est pas aspiré dans les poumons par une pression négative intra-alvéolaire dûe à l'action des muscles respiratoires, mais il est insufflé par une machine créant une pression positive dans le parenchyme pulmonaire.

Le médecin doit en être bien conscient et c'est en connaissant parfaitement ces appareils et leur fonctionnement qu'il est capable d'ajuster la ventilation artificielle à l'état clinique du patient, et d'imiter au mieux les conditions physiologiques de la ventilation pulmonaire.

./.

Le succès thérapeutique d'une ventilation artificielle dépend de la connaissance qu'a le médecin traitant du respirateur utilisé et de ses possibilités, mais plus encore, de l'appréciation permanente de l'état clinique du patient et de son évolution, qui restent la tâche la plus importante du corps médical.

But de l'étude

Nous avons voulu comparer et examiner aussi bien cliniquement que techniquement, quelques respirateurs modernes entre eux et par rapport à des appareils plus anciens qui ont fait leurs preuves. Il s'agit de :

- Engström 200
- Engström 300
- Engström 2000
- Monaghan 228
- Monaghan 250
- Monaghan 270
- Sabathié-Fourès SF4
- Philips AV3
- Elema SV 900

./.

APPRECIATION DANS L'APPLICATION CLINIQUE

Méthodes

Pour analyser les avantages et les inconvénients des appareils lors de leur emploi au lit du malade, nous avons remis un questionnaire aux huit médecins et aux vingt infirmières qui ont travaillé avec les appareils testés. Les points suivants ont été relevés :

1. maniabilité : grandeur, clareté du tableau de commande, assemblage des tuyaux ;
2. simplicité de la mise en marche de l'appareil ;
3. fiabilité fonctionnelle : sécurité, alarmes, pannes ;
4. accessoires : PEEP, Trigger ;
5. contrôle du volume courant et du volume minute ;
6. bruit de travail ;
7. stérilisation et nettoyage ;
8. principaux avantages ;
9. principaux inconvénients.

Résultats

Se référer au tableau 1 pour l'appréciation des infirmières et au tableau 2 pour celle des médecins.

Questionnaire posé aux infirmières :

PRINCIPAUX AVANTAGES

Engström 200 et 300	bon, fiable, de manipulation simple
Engström 2000	maniable, grandeur agréable
Monaghan 228	bon, utilisable aussi sans électricité
Monaghan 250	très bon, polyvalent, de forme pratique, de compréhension technique simple, très bien adaptable aux patients, très bonne alarme
Monaghan 270	bon, polyvalent
Sabathié-Fourès SF4	bon, I/E bien réglable
Philips AV3	bon, facile à comprendre
Elema SV900	bon, peu bruyant, facile à installer

PRINCIPAUX INCONVENIENTS

Engström 200 et 300	lourd, encombrant, pas de possibilité de Trigger, mauvaise adaptation de la machine au patient qui doit pratiquement toujours être curarisé, beaucoup d'espace mort
Engström 2000	humidificateur délicat

./.

Monaghan 228	la tuyauterie s'amollit après plusieurs stérilisations. Ils manquent des alarmes pour l'oxygène et à basse pression
Monaghan 250	le support pour les tuyaux n'est pas pratique. Les joints de la tuyauterie ne sont pas fiables après plusieurs stérilisations
Monaghan 270	tableau de bord compliqué, les boutons se dérèglent facilement, les volumes respiratoires indiqués par l'appareil sont imprécis
Sabathié-Fourès SF4	lourd, encombrant, compliqué, volume courant difficile à régler
Philips AV3	la tuyauterie est peu pratique, de même que son statif
Elema SV900	pas d'indication du volume courant, trop silencieux

./.

Questionnaire posé aux médecins :

PRINCIPAUX AVANTAGES

Engström 200 et 300	robuste, fiable, facile à comprendre
Engström 2000	maniable, pas trop grand, réglage de la concentration d'oxygène facile, bon système d'alarme
Monaghan 228	facile à comprendre, bien adaptable au malade, indépendant du courant électrique, prix avantageux
Monaghan 250	pratique, facile à comprendre, bien adaptable au patient, offre beaucoup de possibilités, prix assez avantageux
Monaghan 270	fiable, polyvalent
Sabathié-Fourès SF4	robuste, I/E facile à régler par chronotome
Philips AV3	bon, pratique, facile à comprendre, PEEP fiable, bon Trigger. Le réglage du temps inspiratoire et expiratoire donne une lecture automatique de la fréquence
Elema SV900	précis, facile à installer, volume courant constant

./.

PRINCIPAUX INCONVENIENTS

Engström 200 et 300	encombrant et lourd, difficile à adapter au patient
Engström 2000	à 100 % d'oxygène, on n'obient que 15 l/min., ce qui est insuffisant. Mauvais Trigger : vol/min. constant. Assemblage de l'humidificateur difficile
Monaghan 228	pas d'alarme basse pression, pas d'alarme pour l'oxygène, pas de pause inspiratoire
Monaghan 250	fuites fréquentes au niveau des tuyaux
Monaghan 270	volumes respiratoires indiqués par l'appareil sont imprécis, alarmes trop sensibles, les boutons de réglage se tournent et se dérèglent trop facilement
Sabathié-Fourès SF4	encombrant et lourd, compliqué
Philips AV3	trop encombrant, onéreux, inflation hold réglable seulement indirectement. Humidificateur peu pratique
Elema SV900	fausses alarmes fréquentes, onéreux, ne peut pas être utilisé pour les patients avec ventilation/minute très élevée (>30 l/min.)

./.

Utilisation clinique des appareils

Durant une période de huit mois, plus de cent patients ont été traités avec les respirateurs mentionnés. Tous ces malades avaient besoin d'une ventilation artificielle pour cause d'insuffisance respiratoire aiguë. Huit malades au moins ont été ventilés par chaque appareil testé :

- Engström 200	8 malades
- Engström 300	8
- Engström 2000	8
- Monaghan 228	18
- Monaghan 250	26
- Monaghan 270	15
- Sabathié-Fourès SF4	8
- Philips AV3	8
- Elema SV900	10

Objectivement, les appareils les mieux tolérés par les malades étaient le Monaghan 270, le Monaghan 250 et l'Elema SV900. Pour les cas graves tels que consolidations pulmonaires avancées et embolies pulmonaires graves, ces ventilateurs ont donné de très bons résultats.

./.

ETUDE TECHNIQUE

Méthodes

Les respirateurs ont été testés sur un banc d'essais qui ressemble à l'installation utilisée par Rügheimer pour une étude semblable (6). Il est composé d'un modèle de poumon (bouteille de verre de 50 litres), d'un pneumotachographe, d'un calculateur analogue Megamed (7) et d'un enregistreur. Pour mesurer la fiabilité des appareils, nous avons gardé un volume courant et une fréquence fixes de 1200 ml et de 12/minute. Le flux inspiratoire, la résistance et la pression en fin d'expiration (PEEP) ont été variés, le flux et le PEEP à l'aide des boutons de réglage incorporés à chaque respirateur, la résistance avec des tubes endotrachéaux de différents diamètres. Les mélangeurs d'oxygène ont été testés par un spectromètre de masse (Perkin-Elmer).

Résultats

La figure 1 montre la gamme de flux inspiratoire qu'on peut obtenir avec les différents respirateurs, et dans quelle mesure le volume courant est affecté par ces variations. Pour les appareils d'Engström, les flux minima sont élevés, avec une gamme restreinte pour le modèle 2000. Relevons la souplesse des Monaghan pour le flux inspiratoire, avec toutefois une augmentation de 15 % du volume courant pour le Monaghan 228. L'augmentation théorique du volume de 35 % pour le Sabathié-Fourès SF4 n'est pas importante puisque le volume courant est réglé en partie par ce flux.

Lorsqu'on augmente la pression en fin d'expiration (figure 2), seul l'Engström 2000 ne montre pas de perte de volume ; toutefois, son PEEP ne dépasse pas 10 cm d'eau.

./.

Il en est de même pour le Monaghan 250. Quatre appareils permettent d'atteindre des PEEP élevés, c'est-à-dire entre 16 et 24 cm d'eau : il s'agit du Monaghan 228 et 270, du Philips AV3 et de l'Elema SV900. Dans ces conditions, l'Elema SV900 a le mieux conservé son volume courant.

Lorsqu'on augmente la résistance (figure3), on assiste à une diminution variable des volumes, sauf pour deux appareils : le prototype de Monaghan 270 et l'Elema SV900. Lorsqu'on intercale une résistance correspondant à 23 cm d'eau/litre/seconde, le Sabathié-Fourès SF4 perd plus de 30 % de son volume courant, le Monaghan 228 plus de 10 %.

Lors du contrôle des concentrations d'oxygène délivrées par les mélangeurs de gaz, nous avons constaté de grandes différences d'un appareil à l'autre (figure 4). Tous les appareils se situaient dans une fourchette de plus ou moins 10 %. Les appareils d'Engström et le Sabathié-Fourès SF4 montraient des écarts compris entre plus et moins 5 %. Sur l'appareil d'Engström 300 et le Sabathié-Fourès SF4 toutefois, il faut procéder à une série de calculs pour obtenir une concentration d'oxygène voulue, ce dernier étant obtenu par le mélange d'air ambiant avec de l'oxygène délivré par un rotamètre. Seuls, le Monaghan 270 et l'Elema SV900 avaient des écarts ne dépassant pas 3 %.

./.

DISCUSSION

Les appareils d'Engström 200 et 300 ont fait preuve d'un fonctionnement irréprochable pendant de nombreuses années, sans pannes importantes. Leurs dimensions et leurs poids présentent cependant un certain handicap : l'absence d'un "Trigger" rend l'adaptation au malade difficile.

De grands progrès ont été faits dans la réalisation de l'Engström 2000. Il est maniable, pas trop grand, ni trop lourd, son alarme est précise et le mélangeur de gaz est d'un emploi simple. Il dispose d'un "Trigger", mais il est malheureusement mal conçu et ne permet pas de remplir la fonction principale d'un tel dispositif, à savoir la régulation de la ventilation mécanique par le patient qui ajuste la fréquence et la ventilation minute à ses besoins, tout en gardant un volume courant fixe. L'humidificateur est efficace mais d'un fonctionnement délicat.

Le Monaghan 228 est un appareil techniquement facile à comprendre, bien maniable et d'un prix abordable. Son grand avantage est d'être indépendant du courant électrique. Il n'y a pas d'alarme d'oxygène, ni de basse pression.

Le Monaghan 250 a un tableau de bord bien compréhensible, une dimension pratique et un prix raisonnable. Il se prête à de nombreuses utilisations et on peut facilement l'adapter aux besoins des malades. Comme les autres Monaghan, il est facile à nettoyer et à stériliser. Cependant, les joints de tuyauteries perdent de leur étanchéité après avoir été stérilisés plusieurs fois et devraient être améliorés. Malheureusement, il n'y a pas de spirométrie expiratoire sur ces deux dernier appareils.

Le Monaghan 270 fut apprécié pour son emploi sûr et efficace, permettant de traiter des insuffisances respiratoires aiguës très graves. Il a des dimensions agréables et pratiques

./.

et n'est que rarement en panne. Les infirmières estiment qu'il est compliqué, tandis que les médecins sont moins embarrassés par son maniement. Les alarmes sont trop sensibles et les indications du volume courant peu exactes.

Le Sabathié-Fourès SF4 est d'une construction robuste, mais très grand et lourd. Un chronotome permet de régler facilement le cycle respiratoire, mais un volume courant donné est difficile à ajuster.

Le Philips AV3 est techniquement facile à comprendre, PEEP et "Trigger" sont exacts et fiables. Les temps inspiratoire et expiratoire peuvent être variés à volonté. Un cadran indique directement la fréquence résultant de ces variables. Malheureusement, l'appareil est très grand et onéreux. La tuyauterie, le statif ainsi que l'humidificateur sont peu pratiques.

L'Elema SV900 est un respirateur de petites dimensions, très maniable, précis et facile à comprendre. La seule chose qui lui manque à notre avis est un indicateur de volume courant, ceci devant être déduit du volume minute et de la fréquence.

CONCLUSION

Les appareils modernes testés dans cette étude présentent de nettes améliorations techniques. Ils ont permis de faire de grands progrès dans le domaine de la ventilation assistée, d'une part en anesthésie, mais surtout dans les unités de soins intensifs où les malades sont traités pendant des périodes prolongées. Les appareils Monaghan 250, 270 et l'Elema SV900 sont les plus aptes par leurs possibilités techniques, leur fiabilité, leur sécurité à traiter des insuffisances respiratoires aiguës graves.

Résultats du questionnaire posé aux infirmières
(Les pourcentages indiqués se réfèrent au nombre total d'infirmières interr.ogée

	Engström		
	200	300	2000
1. MANIABILITE			
- grandeur	trop grand	trop grand	bon
- clareté du tableau de commande	simple	simple	moyen 75 diff. 25
- assemblage des tuyaux	facile	facile	facile 2 compliqué
2. SIMPLICITE DES CONTROLES POUR LA MISE EN FONCTION	simple	simple	simple 50 compli.50
3. FIABILITE FONCTIONNELLE			
- sécurités, alarmes	bon	bon	bon 25 % moyen 75
- pannes	très peu	très peu	moyen
4. ACCESSOIRES			
- PEEP	peu pratique	bon	bon 50 % moyen 50
- Trigger	absent	absent	moyen 50 mauv. 50
5. CONTROLE DU VOLUME COURANT ET DU VOLUME MINUTE	pratique	pratique	très bon
6. BRUIT DE TRAVAIL	peu 80 % trop 20 %	peu 80 % trop 20 %	bon
7. STERILISATION ET NETTOYAGE	simple	simple	compliqué

Tableau 1

Monaghan 228	Monaghan 250	Monaghan 270	Sabathié-Fourès SF4	Philips AV3	Elema SV900
on	bon	bon	trop grand	bon 50 % trop grand 50 %	bon
ple 50% en 50%	simple	simple 25% moyen 25% diff. 50%	simple 25% moyen 25% diff. 50%	simple 50 % diff. 50 %	simple 50 % diff. 50 %
ile 50% sab. 25% f. 25%	facile	facile 35% diff. 65%	facile 45% compl. 55%	facile 50 % compl. 50 %	facile
ple	simple	compliqué	simple 50% compl. 50%	simple 50 % compl. 50 %	simple 50 % compl. 50 %
30 % assez70%	bon 95% trop 5%	bon 40 % trop bruyant trop d'alarmes 60 %	bon	bon 50 % trop bruyant 50 %	bon
eu	peu 80 % moyen 20 %	peu 80 % moyen 5% beaucoup 15%	peu	peu 50 % fréquents 50%	peu 50% fréquents 50
on	bon	bon	bon 45 % moyen 55 %	bon	bon
on	bon	bon	bon	bon	bon
ile 90 % f. 10 %	facile 95 % diff. 5 %	facile 45 % diff. 55 %	facile	très bon 50 % compl. 50 %	facile 50 % diff. 50 %
on	bon	bon 60 % trop silencieux 40 %	bon	bon 50 % trop bruyant 50 %	trop silencieux
mple	simple	simple	simple 25 % compl. 75 %	simple	simple 75 % compl. 25 %

Résultats du questionnaire posé aux médecins
(Les pourcentages indiqués se réfèrent au nombre total de médecins interrogés

	Engström		
	200	300	2000
1, MANIABILITE			
- grandeur	trop grand	trop grand	bon
- clareté du tableau de commande	simple	simple	simple 50 compl. 50
- assemblage des tuyaux	facile	facile	facile
2. SIMPLICITE DES CONTROLES POUR LA MISE EN FONCTION	simple	simple	simple
3. FIABILITE FONCTIONNELLE			
-sécurités, alarmes	bon 50 % insuff. 50%	bon 50 % insuff. 50 %	bon 50 % moyen 50 %
- pannes	très peu	très peu	peu 50 % moyen 50 %
4. ACCESSOIRES			
- PEEP	moyen 50 % insuff. 50%	bon	trop faibl
- Trigger	absent	absent	mauvais
5. CONTROLE DU VOLUME COURANT ET DU VOLUME MINUTE	très facile	très facile	facile et précis
6. BRUIT DE TRAVAIL	peu 50 % trop 50 %	peu 50 % trop 50 %	beaucoup

Tableau 2

Monaghan 228	Monaghan 250	Monaghan 270	Sabathié-Fourès SF4	Philips AV3	Elema SV900
bon	bon	bon	trop grand	bon 50 % trop grand 50	bon
simple	simple	simple 50 % moyen 50 %	compliqué	simple	simple
facile	facile	facile 50 % diff. 50 %	facile 50 % diff. 50 %	facile	facile
simple	simple	simple 75 % compl. 25 %	simple 50 % compl. 50 %	simple 50 % compl. 50 %	simple
bon 50 % as d'alar- e O_2 50 %	bon	bon 50 % trop d'alar- mes 50 %	moyen	bon 50 % trop bruyant 50 %	bon
peu 90 % pas 10 %	peu 75 % pas 25 %	peu	peu	peu 25 % fréquent 75%	peu 50 % fréquent 50%
bon	bon	bon	moyen 50 % insuff. 50%	très bon	bon 50 % moyen 50 %
on 50 % as assez ensible 50%	bon 50 % pas assez sensible 50%	bon 90 % difficile à régler 10 %	moyen	bon	bon
acile 75 % eu pratique 25 %	facile 75 % peu pratique 25 %	facile 75 % diff. 25 %	peu exacte	facile et précis 90 % peu pratique 10 %	facile 50 % peu pratique 50 %
peu	peu	peu	peu 50 % trop 50 %	bon 50 % trop 50 %	peu 50 % trop silen- cieux 50 %

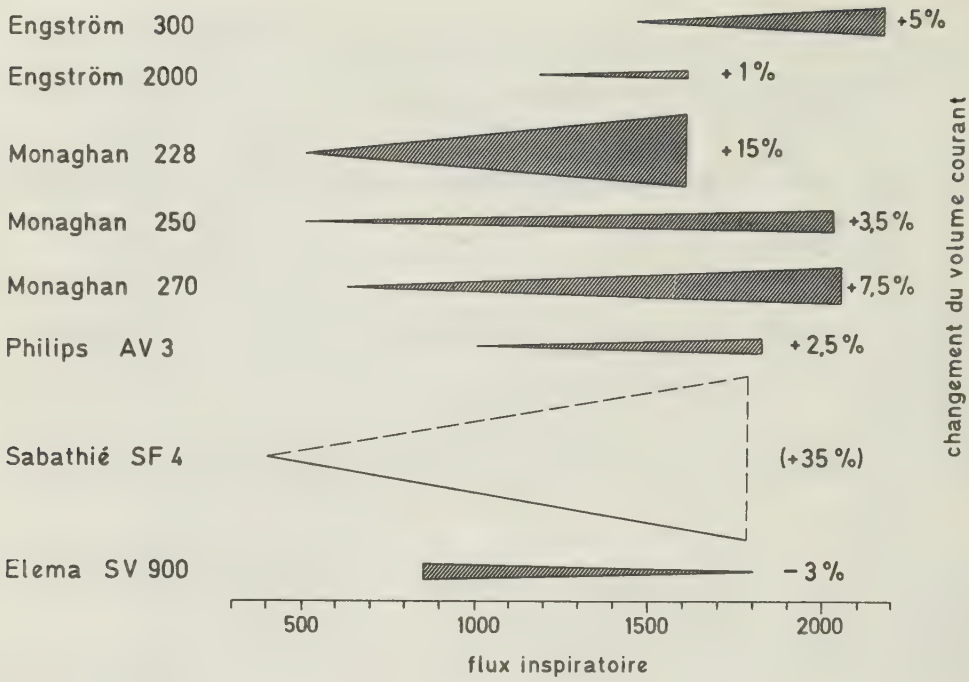

Fig. 1 : gamme de débits produits par les appareils testés (en ml/sec.) avec les variations du volume courant (en %) secondaires à ces changements de débit.

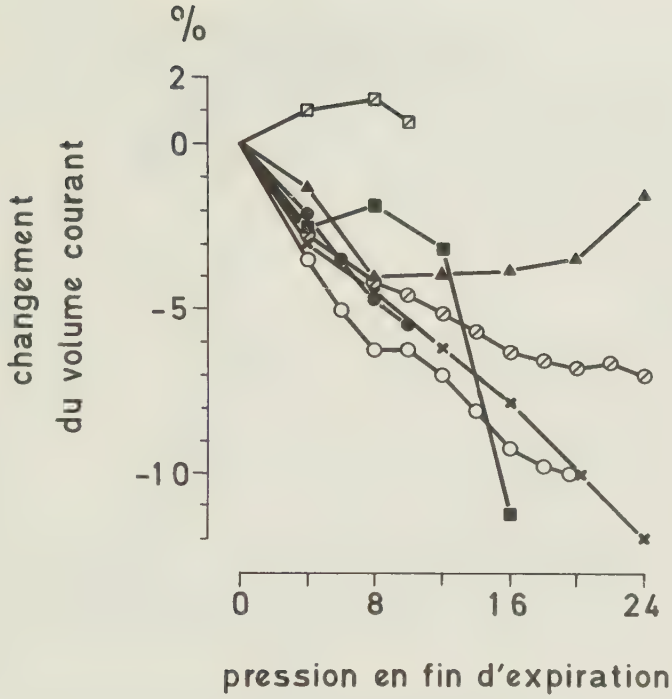

Fig. 2 : changement du volume courant (en %) produit par l'augmentation de la pression en fin d'expiration (en cm H_2O).

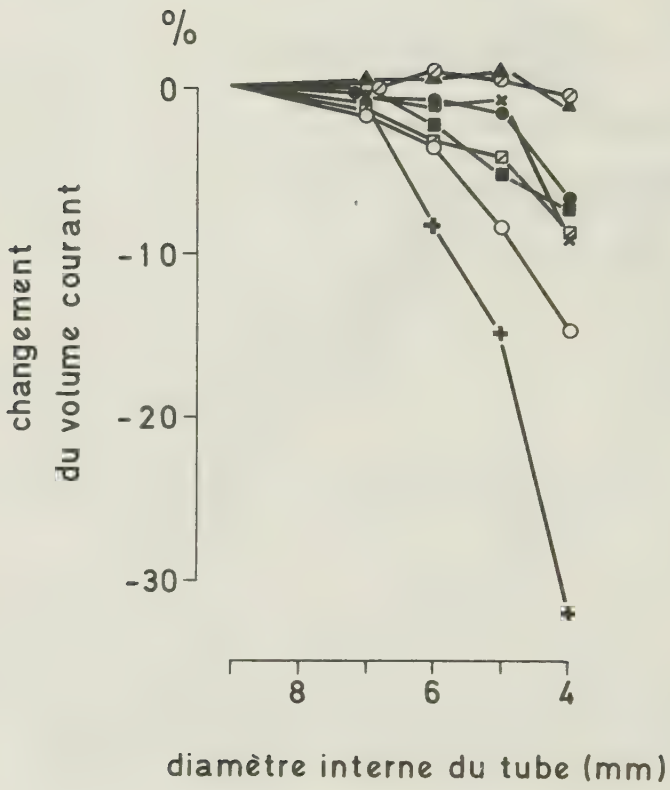

Fig. 3 : diminution du volume courant (en %) causée par une augmentation de la résistance, correspondant à des tubes endotrachéaux d'un diamètre interne de 4-9 mm.

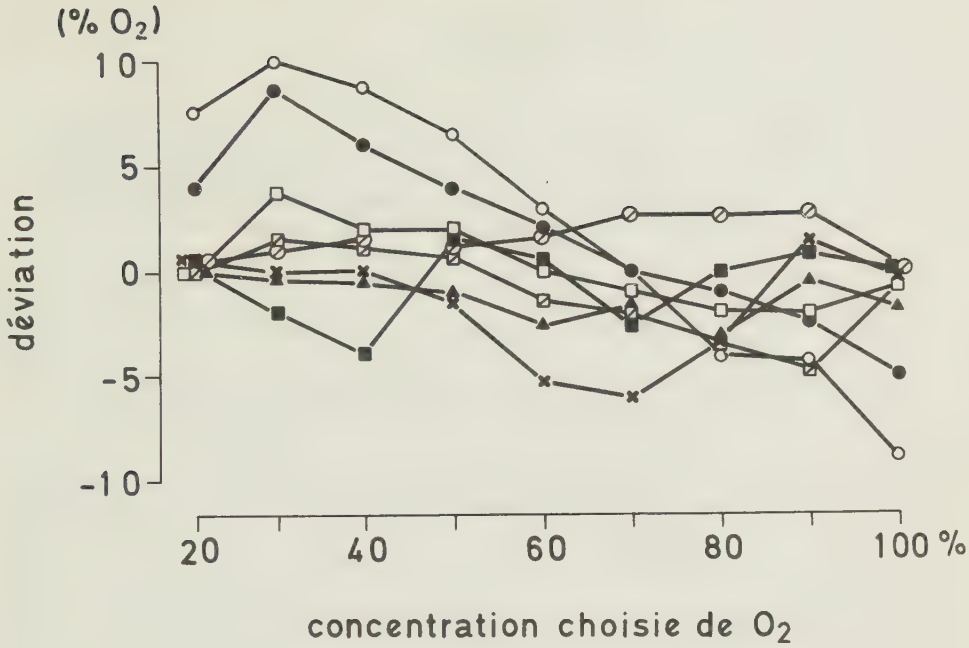

Fig. 4 : différence de la concentration d'oxygène entre le mélange choisi sur l'appareil et la concentration mesurée par un spectomètre de masse (Perkin-Elmer).

BIBLIOGRAPHIE

1. GIERTZ, K. : Studier över tryckdifferensandning enlight Sauerbruch och över konstgjord andning (rytmisk luftinblasning vid intrathoracala operationer). Uppsala Läkareför, förhandl. suppl.22, 1916.

2. NORLANDER, O.P. : The use of respirators in anaesthesia and surgery. Acta Anaesth. Scandinav. suppl. XXX, 1-62, 1968.

3. FLEISCH, A. : Der Pneumotachograph : die Apparatur zur Geschwindigkeitsregistrierung der Atemluft. Pflügers Arch. ges. Physiol. 209, 713, 1925.

4. HERZOG, P., NORLANDER, O.P. : A precision method for the dynamic volume-flow calibration during pneumotachography. Acta Anaesth. Scandinav. suppl. XXIV, 119-126, 1966.

5. ENGSTROEM, C.G. : The clinical application of prolonged controlled ventilation. Acta Anaesth. Scandinav. suppl. XIII, 119-126, 1963.

6. RUEGHEIMER, E. : Vergleichende Untersuchungen verschiedener Respiratoren. Anästhesie Atmung-Kreislauf. M.Gemperle, G.Hossli, B.Tschirren (éditeurs). Anesthésiologie et Réanimation 80, 14-27, Springer Verlag Berlin 1974.

7. KLOSE, R. : Messtechnik bei der künstlichen Beatmung. Medizinische Technik 3, 68-71, 1974.

Imprimé par Médecine et Hygiène — Genève — Suisse